引用格式:傅伯杰,刘彦随,曹智,等.黄土高原生态保护和高质量发展现状、问题与建议.中国科学院院刊, 2023, 38(8): 1110-1117, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230525001.
Fu B J, Liu Y S, Cao Z, et al. Current conditions, issues, and suggestions for ecological protection and high-quality development in Loess Plateau. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(8): 1110-1117, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230525001. (in Chinese)

黄土高原生态保护和高质量发展现状、问题与建议

傅伯杰[1,2*]　刘彦随[3]　曹　智[3]　王壮壮[1]　武旭同[2]

1 中国科学院生态环境研究中心　城市与区域生态国家重点实验室　北京　100085
2 北京师范大学地理科学学部　地表过程与资源生态国家重点实验室　北京　100875
3 中国科学院地理科学与资源研究所　中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室
北京　100101

摘要　黄河流域生态保护和高质量发展已上升为国家战略。2021年《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》的发布与实施，促使黄土高原生态建设进入了生态治理成效巩固、经济社会发展转型的关键期。文章系统总结了黄土高原生态建设与社会经济发展的现状特点和主要问题，从生态系统稳定性和可持续性提升、社会经济系统绿色转型、国土空间科学布局、全流域统筹协调治理等方面提出对策建议，为黄土高原乃至黄河流域生态保护和高质量发展提供科技支撑。

关键词　生态保护，高质量发展，人地系统，乡村振兴，黄土高原

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20230525001

CSTR　32128.14.CASbulletin.20230525001

黄土高原位于我国中北部、黄河中游地区，面积约64万平方千米，是中华文明的重要发祥地。黄土高原生态环境脆弱，对气候变化的响应尤其敏感，是中国人口、资源、环境矛盾最集中的区域之一。长期以来，黄土高原区域发展面临着土壤侵蚀严重、植被稀疏、人口压力大、生产力低下等突出问题。随着坡面治理、沟坡联合治理、小流域综合治理、退耕还林还草和治沟造地等一系列治理措施与生态建设工程的开展，特别是1999年实施退耕还林还草工程后，黄土高原生态环境发生了巨大变化，整体上实现了生态环境

*通信作者
资助项目：中国科学院学部咨询评议项目（2018-ZW13-A-028）
修改稿收到日期：2023年7月20日；预出版日期：2023年7月24日

保护与社会经济发展的“双赢”。黄土高原的生态治理是我国生态文明建设的伟大实践，为世界其他国家和地区的生态恢复提供了样板。

中共中央、国务院印发的《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》明确指出，“突出抓好黄土高原水土保持，全面保护天然林，持续巩固退耕还林还草、退牧还草成果，加大水土流失综合治理力度，稳步提升城镇化水平，改善中游地区生态面貌。”随着黄河流域生态保护和高质量发展的国家战略推进、规划纲要实施，新时期的黄土高原生态建设进入了生态治理成效巩固、经济社会发展转型的关键期。本文系统分析了黄土高原生态环境与社会经济发展的现状特点和主要问题，提出了新时期黄土高原生态保护和高质量发展的相关对策与建议。

1 黄土高原生态环境与经济社会发展的现状特点

经过长期的不懈努力，黄土高原生态环境面貌逐步改善，社会经济取得长足发展[1]。

（1）林草植被覆盖率明显增加，生态系统固碳能力有所提升。退耕还林还草工程实施以来，黄土高原林草植被覆盖率从1999年的31.6%提高到2020年的67%，实现了“由黄到绿”的历史性转变。2000年后，黄土高原植被指数增长率高于全国整体水平，引领全国“变绿”[1]。随着植被恢复，黄土高原生态系统固碳量显著增加，黄土高原已由碳源转变为碳汇[2]，固碳增加量主要集中在黄土丘陵沟壑区等退耕还林还草工程实施区域[3]。

（2）水土流失得到有效控制，入黄泥沙量显著减少。根据黄河流域水土保持公报，截至2020年底，黄河流域累计初步治理水土流失面积25.24万平方千米，累计建成淤地坝5.81万座。黄河流域水土保持率从1990年的41.49%提高到2020年的66.94%，其中黄土高原地区水土保持率为63.44%。根据潼关水文站的观测记录，黄河中游2001—2020年平均输沙量降至2.4亿吨，已达到1 000多年前人类活动干扰破坏较弱时期的输沙量水平[4]。

（3）农业生产能力显著改善，农民收入结构不断优化。通过采取筑坝蓄水、治沟造地等工程措施推进高标准农田建设，黄土高原粮食生产能力显著提升[5]。2000—2020年粮食总产量增长了47.05%，增长幅度高于同期全国平均水平（44.86%）。相关研究表明，黄土高原地区粮食自给率从1950年的62%增长到2019年的108%[6]。农民增收渠道由过去依赖农业生产经营不断拓展到非农就业、果园经营、生态补偿、入股分红等多元渠道，收入结构不断优化。农民人均纯收入由2000年的1 916元增长到2020年的14 400元。2020年该地区贫困人口全部脱贫、贫困县全部摘帽，取得了脱贫攻坚和消除绝对贫困的历史性成就。

（4）经济社会快速发展，产业模式日益多样。黄土高原城镇化率从2000年的34.9%增长到2020年的63.8%，城乡人口结构发生巨大转变，农村地区人口压力得到缓解。经济社会规模快速增长，主要经济指标明显高于全国平均水平，2020年黄土高原地区国内生产总值（GDP）、工业生产总值和人均GDP分别增长至2000年的14.35倍、10.86倍和11.79倍，高于全国平均水平（分别为10.11倍、7.77倍和9.04倍）。工业生产总值占全国比重由2000年的6.11%增长到2020年的8.54%。部分地区利用资源与区位优势，积极发展苹果、红枣、花椒、滩羊、肉牛等特色种养产业，以及生态观光和红色旅游业。这些产业成为城乡融合与乡村振兴的新增长点。

2 黄土高原生态环境与经济社会发展的主要问题

尽管黄土高原生态环境治理取得了上述显著进展，但局部地区仍然面临着人工植被可持续性差、生态环境脆弱、乡村空心化和发展不平衡等突出问题。

2.1 植被恢复配置合理性不足，生态功能欠佳

（1）人工恢复植被结构单一，生态功能表现欠佳。为了提高苗木的成活率、保存率，让黄土高原尽快绿起来，速生廉价苗木被大量应用，山上造林主要以刺槐、杨树等速生物种为主要建群种。部分混交林主要是2—3个物种以1∶1或2∶1等模式造林，林分结构与天然次生林相比过于简单，在生物多样性和生态功能上表现欠佳。监测研究表明，人工还林地的生物多样性和生态功能比天然次生林对照分别低10%—15%和19%—65%。此外，结构简单容易使植被对植食性昆虫缺乏抑制性，害虫大量繁殖将损害植被群落的生理功能和稳定性。

（2）植被恢复密度过高，水资源消耗严重。黄土高原土层深厚，植被生长主要依赖天然降雨和土壤水分。初期人工植被恢复的种植密度较高，消耗了大量土壤水分，土壤干层面积扩大，引发“小老头树”甚至树木枯死的现象，导致植被群落生长衰退。研究表明，黄土高原中北部地区的植被覆盖度已经超过了气候定义的均衡植被覆盖度，植被密度过高是造成该地区土壤干化的主要原因[7]。黄土高原植被建设已经接近了水资源植被承载力的阈值，超过这一阈值将造成生态需水和社会经济发展用水冲突[8]。

2.2 局部地区自然灾害风险较高，中下游统筹不力

（1）黄土高原生态环境脆弱本底尚未根本改变，自然灾害发生风险较高。黄土高原处于典型的温带大陆性季风气候区，暴雨、旱灾和霜冻等极端气候事件频发，威胁到沟道农业和特色经果产业发展的稳定性与可持续性。野外实地调查发现，在大暴雨至特大暴雨的条件下，流域内侵蚀风险依然较严重，容易在下游造成严重的淤积和洪涝灾害[9]。流域内淤地坝拦沙作用明显，但是在暴雨情况下仍存在较多的损毁和漫坝现象。相关调查进一步显示，黄土高原地区修建于1986年以前的淤地坝占淤地坝总数的54.54%。此类淤地坝多为中小型坝、标准低，目前多已淤满失效或年久失修，已认定的病险淤地坝5 282座，其中下游有人员居住的456座[10]，结构老化淤地坝的溃坝风险随着极端气候频繁发生而加剧。

（2）黄土高原产水产沙发生变化，黄河水沙关系不协调的顽疾依然存在。水资源不足与水沙关系不协调是黄河流域生态保护和高质量发展的重要瓶颈。黄土高原是黄河流域的强产沙区和弱产水区。随着黄土高原地区大规模生态治理的推进，区域径流量显著减少。例如，黄河河口镇至龙门区间，在降水量有所增加的情况下，2000—2016年多年平均径流量与1980—1999年相比仍减少超过40%。黄土高原侵蚀产沙强度与进入黄河下游河道的泥沙量大幅下降，导致黄河下游河床发生强烈冲刷。1987—2020年，黄河花园口至柳园口段河道变迁频繁，近20年累计造成约32平方千米耕地被侵蚀[11]。

2.3 农户生计依然脆弱，区域发展差距显著

（1）土地利用效益不高，农户生计依然较为脆弱。随着城镇化与经济社会发展，乡村大量青壮年劳动力进城务工，加速了乡村主体老弱化和宅基地空废化。相关数据显示，2020年黄土高原所在省份乡村人口老龄化率达14.16%，高于全国平均水平（13.52%），乡村常住人口占户籍人口的36.2%。乡村主体老弱化制约了农业集约经营，乡村出现不同程度的显性和隐性撂荒现象。随着退耕还林、精准扶贫等国家补贴政策陆续到期，过去主要依赖转移支付的收入结构面临新的挑战。虽然该地区农民人均纯收入持续增长，但与全国平均水平相比仍有一定差距。同时，城乡收入差距在不断扩大，实现共同富裕仍任重道远。

（2）区域发展差异显著，县域经济发展相对滞后。黄土高原产业结构“倚重倚能”，资源富集区县依托资源型产业实现经济增长，而其他地区发展缓慢。第二产业增加值的基尼系数由2000年的0.34增长至2020年的0.49，因资源差异造成的发展差距显著。区域内超过67.74%的区、县人均GDP与财政收入低于区域

平均水平的50%。随着资源枯竭和产能调整，第二产业比重从2010年开始呈现下降趋势，第三产业发展缓慢。区域财政收入年均增幅远低于财政支出，财政赤字不断扩大，县城建设与经济发展资金短缺，人口外流严重，制约了县域经济发展。财政收入低于财政支出的区、县占比高达86.22%。财政赤字从2000年的107.88亿元上升至2020年的6388.33亿元。财政赤字超过20亿元的区、县占比高达44.57%。县城可提供的就业岗位有限，基础设施和公共服务水平低、吸引力较弱。

（3）生态资源挖掘不够，生态产品价值转化不高。黄土高原生态环境改善，为减少入黄泥沙、保障黄河下游地区人民生命财产安全发挥关键作用。但生态价值评估及其生态补偿制度仍处于探索阶段。相关数据显示，虽然退耕还林补偿标准由每年230元/亩、补贴5—8年，调整为新一轮（5年）的1500—1600元/亩，但与农民非农就业的机会成本和相应的生态价值相比仍然偏低。黄土高原生态环境改善为本区域保障农业生产、发展生态旅游奠定了坚实基础，但“两山”转化和生态产业化实现机制仍处于探索阶段，尚未形成完善的生态产品培育和市场化发展机制。

3 黄土高原生态保护和高质量发展的对策建议

针对上述问题，需要在人与自然耦合系统分析框架下，从生态系统稳定性和可持续性提升、社会经济系统绿色转型、国土空间科学布局、全流域统筹协调治理等4个方面提出可行的对策和长效机制，持续推进黄土高原生态保护和高质量发展，走出一条生态和经济协调发展、人与自然和谐共生之路（图1）。

3.1 提升生态系统稳定性和可持续性，支撑碳中和目标实现

（1）保持合理的植被密度。黄土高原的植被建设已经接近水资源植被承载力的极限。未来生态保护与恢复的焦点需要从“植被建设”向“成效巩固和功能提升”的方向转变。林分密度过高是导致黄土丘陵沟壑区刺槐林土壤干化、生长衰退的主要原因之一。为确保生态系统的稳定性与可持续性，需要对单一、高耗水人工林进行结构和功能优化。科学疏伐可以优化林分结构，并能够通过控制植被蒸腾耗水量来调节土壤水分，是提高人工刺槐林可持续性的有效手段。

（2）建立环境适宜性的植被群落。推进生态系统

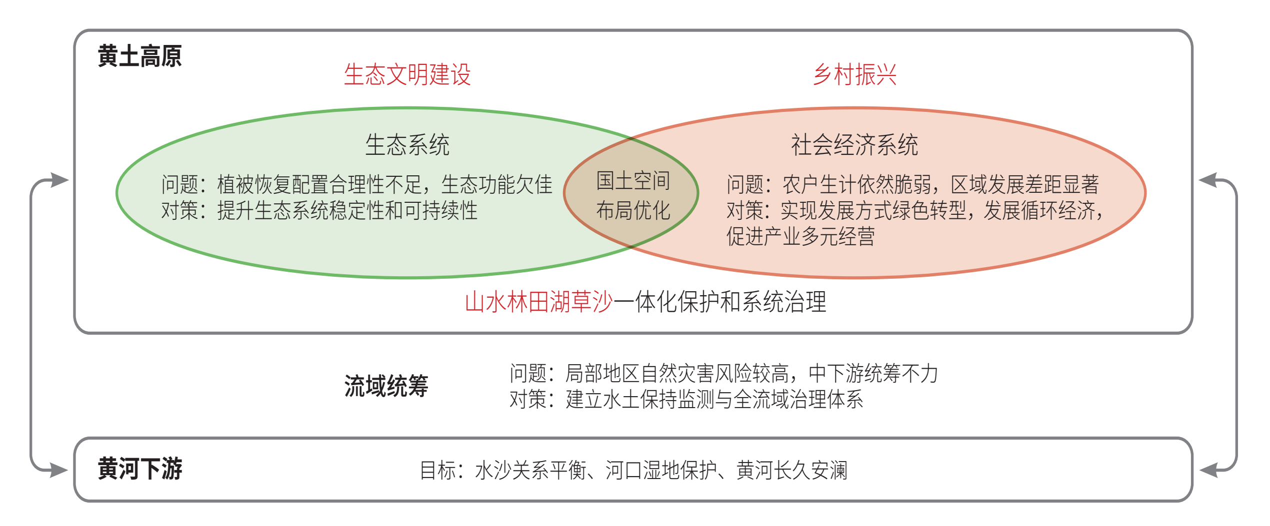


图1 推进黄土高原生态保护和高质量发展的对策建议

Figure 1 Suggestions for ecological protection and high-quality development in Loess Plateau

适应性管理[12,13]，针对现有工程措施及林草植被恢复措施的环境适宜性、水土保持效应、社会效益和经济效益、生态环境风险等方面进行综合评价，重点对环境适应性、有效性低而生态环境风险（如高耗水、病虫害等）较高的植被进行结构优化和功能提升，将人工生态林进行抚育和近自然改造。依据植被水平地带性和演替规律，引入适合本土环境的树种，如刺柏、沙柳等，逐步替代环境适应性低的高耗水树种，避免单一树种成林现象。开展生态系统恢复力变化及驱动因素研究，提升植被应对干旱和病虫害的恢复力，增强生态系统的可持续性。

（3）探索生态碳汇市场。随着林草覆盖率和林草质量提升，黄土高原碳汇能力增强。实现林草碳汇交易和价值转化是走向绿色发展路径的迫切需求。探索建立生态碳汇市场交易体系，开展生态碳汇交易试点，拓展生态产品价值实现渠道，持续完善绿色碳库扩容增汇的激励机制。构建碳汇计量监测体系，引导更多社会资本“进山入林”，支持林农有效参与碳汇交易，获得林草生态系统服务的货币收益，增强长期可持续管理林草资源的信心和动力，支撑碳中和与乡村振兴目标实现。

3.2 实现发展方式绿色转型，促进人地协调和全面乡村振兴

（1）推进生态产业化，实现生态资源价值转化。将自然资产与生态系统服务逐步纳入国民经济核算体系，建立生态系统生产总值核算体系[14,15]。按照生态资源培育、生态资源资产化、生态资产资本化、生态产品与服务市场化的逻辑，综合利用土地工程技术，有效提升区域生态资源质量和功能，深化生态资源产权制度与收益分配制度创新，大力培育新型经营主体和专业市场，健全乡村生态要素与城市资金要素双向流动机制，实现生态资源价值转化。

（2）发展绿色低碳循环经济，促进资源节约集约利用。按照农业种养内循环，农业生产与加工、电商外循环，以及农业与旅游、康养、乡城一体的多功能大循环体系，推进形成黄土高原产业内循环及其与黄河流域双循环互促共进的发展新格局[16]。通过创新多主体联动、多部门参与的现代管理机制，切实保障区域特色资源高效利用和人地协调发展。

（3）利用信息技术，促进产业多元化与信息化经营。凸显黄土高原资源禀赋与地域文化优势，充分发挥现代信息技术在资源配置和科学决策中的支撑作用，以实现乡村地域系统功能与价值为目标，大力发展特色精品农业、有机农业、共享农业等新业态，推进形成沟道农业、园区农业、山地农业等新形态，以产业兴旺和智慧乡村建设全面助力乡村振兴。

3.3 优化国土空间布局，推进山水林田湖草沙一体化保护和系统治理

（1）调整优化生活空间。基于自然地理格局、人口经济分布和城镇化阶段等特征，按照主体功能分区、主导类型分类、主要用途分级的方法，识别“三生”空间结构与格局[17,18]。科学推进村庄分类，优化调整城镇村体系，强化县城“联城带乡”作用，推进土地综合整治和城乡空间优化，通过稳定资格权、放活使用权，引入市场机制，盘活土地资源，优化公共资源配置，推进农村人居环境整治与和美乡村建设。

（2）高效利用生产空间。着眼生态文明建设和统筹城乡发展战略，以土地整治与优化配置为抓手，创新金融服务配置机制，激发新型农业经营主体积极性，推进多功能现代沟道农业发展，巩固提升治沟造地工程成效，科学推进土地经营规模化、组织专业化、生产机械化、产业高效化，打造集农业生产、农耕体验、科教研学、旅游观光、康乐养生于一体的田园综合体和山水林田湖草沙生命共同体。

（3）保护修复生态空间。建立与生态系统的系统性和完整性规律相一致的质量评估与修复治理体制机制，以生态系统质量系统评估为基础，保护与修复并重，综合采取生物措施、工程措施与管理措施，科学

开展小流域综合治理和淤地坝建设，巩固水土流失综合治理成效，提升生态系统健康水平，切实发挥黄土高原生态安全屏障作用。

3.4 建立水土保持监测与全流域治理体系，助力黄河流域生态保护和高质量发展

（1）精准防治，逐步建立水土保持监测评估体系。黄土高原坡耕地水土流失、沟道重力侵蚀等问题依然较为突出，是黄河泥沙的主要来源。建立以监测站点为基础、常态化动态监测为主、定期调查为补充的水土保持监测体系，接续开展以黄土高原为主体的水土保持治理与动态监测工作，深化监测评价和预报预警系统，支撑黄河流域水土流失科学精准防治。扎实推进水土流失重点区的预防与治理，及时更新水土流失风险区等级和危险程度分级，提供更加精细的黄河流域各地区水土流失面积和强度数据，针对水土流失热点地区开展因地制宜的生态治理措施，重点对梯田、淤地坝进行除险加固以提升安全等级，对治沟造地工程进行后期管护并提升耕地质量，提高各类生态工程和治理措施应对极端气候事件（如特大暴雨）的抗灾变能力。

（2）协同管理，加快建设水土保持科学决策体系。有效整合黄土高原生态保护科学数据，自主研发黄土高原生态建设智能化分析与决策系统，促进黄土高原生态保护协同化与协作智能化，实现生态保护重大项目监管与治理成效评估相衔接，以及生态保护预测、预警、预报和科学决策的一体化管理。创新引入第三方评估机制，对国家和地方实施生态建设进展与成效进行定期评估，保障黄土高原水土保持与生态建设的可持续发展。重视构建生态科技支撑决策新模式。以顶层目标牵引、重大任务带动、基础能力支撑为总体原则，鼓励针对某一科学问题的科技攻关或多学科交叉的综合协同攻关，鼓励基础研究探索和技术集成示范推广有机结合，形成多学科协同、多部门协作的生态科技支撑新格局。

（3）加强中下游统筹，推进全流域生态治理。黄河流域是一个以生态—水沙关系为纽带的统一整体，中下游和三角洲地区面临的主要问题和保护目标各不相同[19,20]，需要实现生态水文过程与治理制度的结构匹配[21,22]。着力构建由政府主导、公众参与、各部门协调配合的全流域治理体系，充分利用大数据和物联网等新技术，实现黄河流域全面监测、协同决策与科学管控，推进流域治理的高效性、精细化和可持续性。从整体上开展生态恢复背景下的黄河流域水沙关系变化研究，科学规划植被恢复区面积与密度，将泥沙流失控制在合理的阈值范围；探讨三门峡水库、小浪底水库等水库的调水调沙优化方案，构建合理的水沙关系，维持下游河道与河口冲—淤平衡；开展河道内外生态需水与生产生活用水之间的权衡研究，优化水资源空间与部门配置，加强黄河流域中下游、干支流的统筹，共同抓好大保护、协同推进大治理。

参考文献

1 傅伯杰. 黄土高原土地利用变化的生态环境效应. 科学通报, 2022, 67(32): 3768-3779.
Fu B J. Ecological and environmental effects of land-use changes in the Loess Plateau of China. Chinese Science Bulletin, 2022, 67(32): 3768-3779. (in Chinese)

2 Feng X M, Fu B J, Lu N, et al. How ecological restoration alters ecosystem services: An analysis of carbon sequestration in China's Loess Plateau. Scientific Reports, 2013, 3: 2846.

3 Wu X T, Wang S, Fu B J, et al. Socio-ecological changes on the Loess Plateau of China after Grain to Green Program. Science of the Total Environment, 2019, 678: 565-573.

4 Wang S, Fu B J, Piao S L, et al. Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes. Nature Geoscience, 2016, 9(1): 38-41.

5 刘彦随, 李裕瑞. 黄土丘陵沟壑区沟道土地整治工程原理与设计技术. 农业工程学报, 2017, 33(10): 1-9.
Liu Y S, Li Y R. Engineering philosophy and design scheme

of gully land consolidation in Loess Plateau. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33 (10): 1-9. (in Chinese)

6 He G, Wang Z, Shen J, et al. Transformation of agriculture on the Loess Plateau of China toward green development. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2021, 8 (4): 491-500.

7 Zhang S, Yang D, Yang Y, et al. Excessive afforestation and soil drying on China's Loess Plateau. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2018, 123(3): 923-935.

8 Feng X M, Fu B J, Piao S L, et al. Revegetation in China's Loess Plateau is approaching sustainable water resource limits. Nature Climate Change, 2016, 6(11): 1019-1022.

9 杨波, 焦菊英, 马晓武, 等. 2022年黄土高原典型暴雨侵蚀及洪水灾害调查分析. 水土保持通报, 2022, 42(6): 1-13.

Yang B, Jiao J Y, Ma X W, et al. Investigation and analysis of typical rainstorm erosion and flooding disaster on Loess Plateau in 2022. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(6): 1-13. (in Chinese)

10 高健翎, 陈小科, 张佃茂. 黄土高原地区淤地坝现状分析. 中国水土保持, 2023, 490(1): 1-5.

Gao J L, Chen X K, Zhang D M. Current situation of warping dams in the Loess Plateau. Soil and Water Conservation in China, 2023, 490(1): 1-5. (in Chinese)

11 陈怡平, 傅伯杰. 黄河流域不同区段生态保护与治理的关键问题. 中国科学报, 2021-03-02(07).

Chen Y P, Fu B J. Key issues in ecological protection and management of different parts of the Yellow River Basin. China Science Daily, 2021-03-02(07). (in Chinese)

12 DeFries R, Nagendra H. Ecosystem management as a wicked problem. Science, 2017, 356: 265-270.

13 Cinner J E, Lau J D, Bauman A G, et al. Sixteen years of social and ecological dynamics reveal challenges and opportunities for adaptive management in sustaining the commons. PNAS, 2019, 116 (52): 26474-26483.

14 Ouyang Z Y, Song C, Zheng H, et al. Using gross ecosystem product (GEP) to value nature in decision making. PNAS, 2020, doi: 10.1073/pnas.1911439117.

15 Hein L, Bagstad K J, Obst C, et al. Progress in natural capital accounting for ecosystems. Science, 2020, 367: 514-515.

16 刘彦随, 冯巍仑, 李裕瑞. 现代农业地理工程与农业高质量发展——以黄土丘陵沟壑区为例. 地理学报, 2020, 75(10): 2029-2046.

Liu Y S, Feng W L, Li Y R. Modern agricultural geographical engineering and agricultural high-quality development: Case study of loess hilly and gully region. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(10): 2029-2046. (in Chinese)

17 刘彦随. 中国乡村振兴规划的基础理论与方法论. 地理学报, 2020, 75(6): 1120-1133.

Liu Y S. The basic theory and methodology of rural revitalization planning in China. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(6): 1120-1133. (in Chinese)

18 傅伯杰. 国土空间生态修复亟待把握的几个要点. 中国科学院院刊, 2021, 36(1): 64-69.

Fu B J. Several key points in territorial ecological restoration. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(1): 64-69. (in Chinese)

19 Wu X T, Wei Y P, Fu B J, et al. Evolution and effects of the social-ecological system over a millennium in China's Loess Plateau. Science Advances, 2020, doi: 10.1126/sciadv.abc0276.

20 傅伯杰, 王帅, 沈彦俊, 等. 黄河流域人地系统耦合机理与优化调控. 中国科学基金, 2021, 35(4): 504-509.

Fu B J, Wang S, Shen Y J, et al. Mechanisms of human-natural system coupling and optimization of the Yellow River Basin. Bulletin of National Natural Science Foundation of China. 2021, 35(4): 504-509. (in Chinese)

21 Bodin Ö. Collaborative environmental governance: Achieving collective action in social-ecological systems. Science, 2017, 357: eaan1114.

22 Epstein G, Pittman J, Alexander S M, et al. Institutional fit and the sustainability of social-ecological systems. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2015, 14: 34-40.

Current conditions, issues, and suggestions for ecological protection and high-quality development in Loess Plateau

FU Bojie[1,2*] LIU Yansui[3] CAO Zhi[3] WANG Zhuangzhuang[1] WU Xutong[2]

（1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

2 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3 Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China）

Abstract The ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin has been prioritized as a national strategy. The release and implementation of the Outline of the *Yellow River Basin's Ecological Protection and High-quality Development Plan* in 2021 have placed the Loess Plateau, located in the middle reach of the Yellow River, in a critical phase characterized by the need to sustain ecological restoration achievements while fostering socioeconomic progress. This study provides a comprehensive overview of the current conditions and issues related to ecological construction and socioeconomic development in the Loess Plateau. It proposes four specific suggestions focusing on improving ecosystem stability and sustainability, promoting a green transition in socioeconomic development, implementing scientific territorial planning, and adopting an integrated and coordinated approach to managing the entire Yellow River Basin during ecological restoration efforts. The study aims to provide scientific support for the ecological protection and high-quality development of both the Loess Plateau and the Yellow River Basin.

Keywords ecological protection, high-quality development, coupled human and natural system, rural revitalization, Loess Plateau

傅伯杰 中国科学院院士，发展中国家科学院院士，美国人文与科学院外籍院士，英国爱丁堡皇家学会外籍院士。中国科学院生态环境研究中心研究员，兼任国际地理联合会副主席。从事综合自然地理学和景观生态学研究，在土地利用与生态过程、景观格局与生态系统服务优化等方面取得了系统成果。E-mail: bfu@rcees.ac.cn

FU Bojie Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS), Fellow of the World Academy of Sciences for the advancement of science in developing countries, Elected International Honorary Member of American Academy of Arts and Sciences, Corresponding Fellow of the Royal Society of Edinburgh, UK. Professor of Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS. Vice President of International Geographical Union (IGU). His research fields are integrated physical geography and landscape ecology. He has accomplished a series of research achievements on land use and ecological process, landscape pattern and ecosystem service optimization. E-mail: bfu@rcees.ac.cn

■责任编辑：文彦杰

*Corresponding author